

아트룸 빌딩에서의 사무실과 아트룸간의 화재확산에 관한 연구

이수경, 김종훈, 고한목*

서울산업대학교 안전공학과, (주) 희림종합건축*

1. 서 론

최근 시대적 사회적 요구에 의해 다양한 통신서비스기능, 오피스 오토메이션 기능, 빌딩 오토메이션 기능 및 건축환경이 고려된 인텔리전트 빌딩이 국내에서도 대기업의 자사 빌딩을 중심으로 도입되고 있다. 인텔리전트빌딩은 사무근로자의 쾌적한 근무환경을 제공하기 위한 건축설비적 배려 외에도 아트룸이라는 대공간이 제공되는 데, 그 특성상 방화적 측면에서 볼때 불리한 점을 가지고 있다. 이러한 아트룸의 안전성을 확보하기 위해 선진국에서는 아트룸을 통한 화재 확산에 관한 많은 연구가 있었고, 최근에는 아트룸과 사무실간에는 방화구획을 하지 않고 설비적 보완으로 가능하도록 하고 있다. 본 논문에서는 건축 및 설비적 대응을 통해 설계 모델을 설정하고 그것이 안전성을 가지고 있다는 것을 소프트웨어를 이용한 화재 시뮬레이션을 통해서 입증하여 국내 건축법령에서의 방화관련 규정의 보완이 필요함을 제시하고자 한다.

2. 아트룸관련 방화규정의 비교

(1) 한국

우리나라의 건축관계 법령 및 소방관계 법령에는 아트룸에 대한 별도의 방화 규정은 없으나, 아트룸은 대공간에 해당되기 때문에 3층이상은 주변의 사무실측과 방화구획하여야 하며, 바닥 및 벽은 내화구조, 문은 갑종방화문(자동방화셔터를 포함한다.)의 구조이어야 한다. 그리고 일반적으로 스프링클러 소화설비의 설치대상이기는 하나, 거실높이가 20m가 넘는 아트룸의 경우에는 스프링클러의 성능을 보장할수없기 때문에 설치하지 않아도 된다.

(2) 일본

건축기준법에서 전반적인 방화구획의 설치대상 및 기준에 대해 규정하고 있으며, 한국과 비슷하다. 그러나 이 규정은 대신특인(건축기준법 제38조)에 따라서 적용하지않을수 있다. 현재 일본의 경우 대신특인에 의하여 개방된 아트룸을 갖는 최신 건물이 약 30개 정도 건축되었다.

(3) 미국

미국에서의 아트룸에 대한 방화규정은 NFPA 101 및 NFPA 92B에 규정하고 있다. 아트룸은 인접공간과 최소1시간 내화등급을 갖는 내화벽에 의해 구획되어

져야 한다. 단, 다음의 경우는 예외이다.

- ① 건물중 3개층까지는 구획없이 아트룸과 직접적으로 개방되어도 된다.
- ② 유리벽과 고정창으로서 유리로부터 0.3m [1ft]이내에 유리벽 양쪽을 따라 1.8m [6ft]간격으로 자동스프링클러를 설치하여 스프링클러 작동시 유리의 전체 표면이 젖을수 있는 경우에는 내화벽 대신으로 허용될 수 있다.

유리는 스프링클러 작동전 유리가 파손되지 않도록 수축성을 흡수할수 있는 카스켓을 이용하여 창문틀에 고정하여야 하고 사용하는 유리는 강화유리, 망입 유리 또는 접합유리이어야 한다. 또한 거실에는 스프링클러설비, 아트룸측의 통로 및 기타공간에도 스프링클러설비를 하도록 규정하고 있다. 그러나 아트룸의 수직 높이가 17m[55ft]를 초과할 경우에는 스프링클러설비가 면제된다. NFPA CODE에서의 아트룸의 제연설비는 재실자의 탈출시간동안 연기로부터 안전성을 확보하는 개념으로 검토되며 화재경보이후 피난통로로 이용되는 아트룸의 최상층 바닥으로부터 최소 1.5m[5ft]지점까지 연기층이 10분 이내에 내려오지 않을 것을 요구하고 있다. 아트룸의 높이와 크기에 따라 시간당 4~6회의 환기횟수를 추천하고 있으나 통상 시간당 6회 환기회수가 설계자들에 의해 표준으로 받아들여지고 있다.

(4) 영 국

영국의 방화규정은 "Building Act", "Building Regulations", "Fire Precautions Act" 및 관련 British Standard에 규정하고 있는데 아트룸에 대한 별도의 방화구획을 규정하고 있지 않으며 아트룸을 외부에 준하여 생각하기 때문에 거실과 아트룸을 개방하는 경우, 아트룸을 통하여 연기를 신속히 외부로 배출하여, 피난의 통로로 이용되는 아트룸최상부층에서는 연기의 체류나, 열의 체류를 방지하도록 설계하고 있다. 일반유리로 거실과 아트룸이 구분된 경우는 대기온도보다 100K 이상 가열된 가스에 노출되면 유리는 깨어질 것이며, 또한 유리가 부분적으로 가열된 상태에서 소화설비에 의해 물이 유리를 적신다면 갑작스런 냉각으로 유리의 파손이 급격히 진행될수있다. 따라서 유리는 망입유리등으로 하여야 할 필요가 있다. 소화설비에 관해서는 미국과 거의 대동소이하며 기술검토에 의해 타당성이 있으면 설계가 개방되어 있다. 배연에 대해서는 기계배연인 경우 시간당 10회이상의 환기를 하도록 추천하고 있다.

3. 시뮬레이션 프로그램의 선정과 관련 계산식

화재의 행동예측을 위한 분석모델들중에 현재 널리 사용되는 모델은 Zone Model중 하나인 CFAST (The Consolidated Model of Fire Growth and Transport) 로 엔탈피와 질량/시간의 변화를 예측하는 방정식들의 풀이를 기초로 하고 있으며, 관련방정식들을능률적으로 해석하여 수치학적으로 예측한 모델이라고 할 수 있다. 이러한 CFAST모델을 기본으로 하여 만들어진 Software Package가 바로 FASTLite이다. FASTLite는 화재에 의하여 창문이 파열되는 경우에 대한 계산을 할 수 있는 부분이 없으므로 이에 관해서는 NIST에서 제공

하는 S/W인 BREAK1을 사용했다. 두 프로그램 모두 미국표준기술연구소 NIST (National Institute of Standards and Technology)에서 제공되었다. 그 이외의 관련 사항에 대한 계산식은 다음과 같다.

① 필요한 환기회수는 다음과 같이 주어진다.

$$N \geq \frac{M}{M_{CRIT}}$$

여기서, N = 필요한 환기 회수

M = 연기층으로 유입되는 질량 유량, kg/s

② 연기의 발생률은 다음과 같다.

$$M_f = C_e P Y^{3/2} \text{ kg/s}^{5)}$$

여기서, $C_e = 0.188$ (오딧토리움, 스타디움, 대형의 개방된 사무소, 아트룸 등 대형공간거실에 적용, 천정은 화재로부터 높게 위치하고 있다.)

$C_e = 0.210$ (개방사무소와 같이 대공간의 거실에 적용 천정은 화재에 근접해 있다.)

$C_e = 0.337$ (개별점포, 칸막이 사무소, 호텔객실 등과 같이 작은 공간의 거실에 적용)

P = 화재의 주변크기, m(스프링클러 설비가 있는 경우 14m, 없는 경우는 24m를 적용한다.)

Y = 화재바닥으로부터 연기층하부까지의 높이, m

주) 일반적으로 설계적용에서는 대공간거실의 경우 $C_e = 0.188$ 을 채택한다.

③ 최소한의 연기배출율을 임계연기배출율이라 하며 다음에서 구할 수 있다.

$$M_{CRIT} = \beta (g D^5 T_0 \theta / T^2)^{1/2} \text{ kg/s}$$

여기서, M_{CRIT} = 임계배출율(Critical exhaust rate), kg/s

$\beta = 1.3$ 배출구가 벽주위에 위치할 때, kg/m³

1.8 배출구가 벽주위에서 떨어져 있을 때, kg/m³

g = 중력가속도, m/s²

D = 배출구 아래의 연기층두께, m

T_0 = 대기온도의 절대치, K

θ = 연기층의 상승온도, °C

T = $T_0 + \theta$, K

④ Plume의 부피유량은 다음 식에 의하여 계산된다.

$$V = C_v \frac{m}{\rho_P}$$

여기서, V = 높이 Z에서의 Plume의 부피유량, m³/s

$C_v = 1$

m = 높이 Z 에 있는 Plume의 질량유량, kg/s
 ρ_p = 높이 Z 에서의 Plume 가스의 밀도, kg/m³

4. 시뮬레이션 대상 건축물의 개요와 화재의 설정

시뮬레이션의 모델이 되는 건축물의 규모는 고층건물의 적용을 받는 11층으로 하고 아트룸을 기준으로 양편에 사무실이 있다. 사무실에서 아트룸쪽으로는 발코니가 있고 아트룸을 사이에 둔 양측의 사무실간에도 발코니로 연결되어 있어 상호이동을 쉽게 하여 업무의 효율화와 비상시 대피를 돕도록 한다. 사무실과 아트룸쪽의 발코니 사이에는 상부층 및 하부층은 망입유리를, 중간부분은 강화유리 또는 접합유리를 사용한 것으로 한다.

- 높이 : 56m
- 건물바닥면적 : 3686.4m²
- 아트룸의 바닥면적 : 1152 m²(24 m × 48 m)
- 층별높이 : 1 층 : 6m , 기타층 : 4.2m , 아트룸 : 56m
- 층수 : 11 층
- 주용도 : 업무용 건물

화재는 중간급 규모의 화재로 처음 발화에 대한 화재성장곡선의 정의는 중간급 (Medium) 이며, 화재의 규모는 5MW급의 화재로 설정하였다.

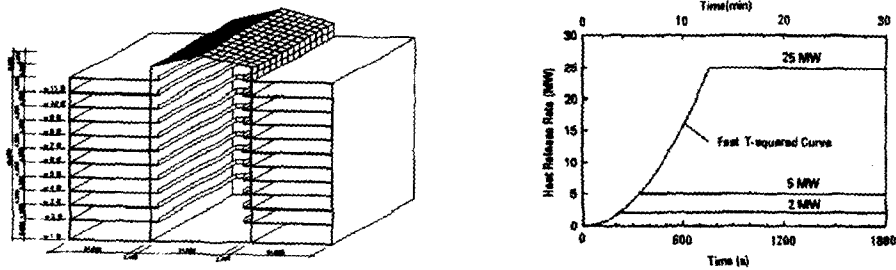


그림 1. 시뮬레이션 대상 건물과 화재곡선

5. 시뮬레이션 결과

(1) 아트룸 화재의 확산에 관한 시뮬레이션 결과

아트룸 내부에 화재가 발생하였으나 자동소방시설이 없는 경우를 5MW와 1MW의 규모의 화재로 나누어 시뮬레이션을 실시하였다. 5MW 화재인 경우, 화재의 크기는 4.951MW, 상부층의 온도는 318.5K이 나왔으며, 천정 부근의 온도는 약 300.85K정도인 것으로 나타나, 아트룸 화재가 실외와 비슷한 현상을 보여 준다는 것을 나타내고 있다. 또한 공간의 면적이 넓기때문에, 복사에 의한 화재의 전파가 용이하지 않다는 것도 알수있다. 1MW인 경우는 1.05MW의 화재 크기를 나타냈으며, 상부층의 최대온도 27℃, 천정부근의 연기온도는 22.6℃

(295.7K)라는 값이 나와 화재의 규모가 작은 아트룸화재일수록 연기의 온도는 상층부에서 매우 낮다는 것을 알수가 있다. 화재가 발생했을 경우 대피시간 확보를 위한 청정층의 유지는 아트룸화재에서 중요한 문제이다. 연기의 발생이 가장 많은 5MW화재의 경우 이에 필요한 환기 횟수는 10회이며, 이를 기계배연으로 수행하면 재실자들의 안전을 보장할 수 있다.

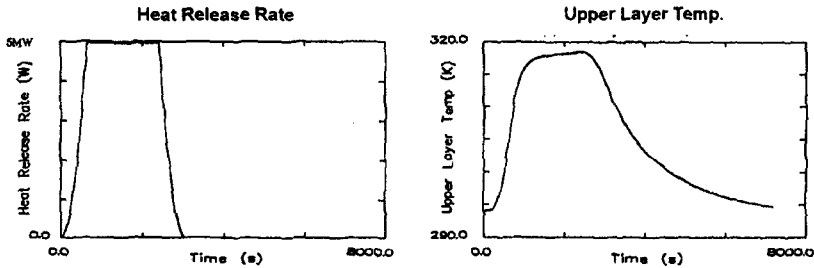


그림 2. 5MW 화재일 경우의 결과 그래프.

(2) 5층 사무실 화재의 아트룸으로의 확산에 관한 시뮬레이션 결과.

① 스프링클러가 정상 작동하는 경우

화재 발생시 스프링클러가 정상적으로 작동을 하는 경우의 시뮬레이션을 실행한 결과, 화재크기(Fire Size)는 506.2KW, 상부층의 온도(Upper layer temp.)는 117.5°C(390.6K)의 최고치를 기록하였으며, 스프링클러 헤드는 207.3초, 213.1초, 276.8초에 각각 개방되어 신속히 화재를 진압하는 결과를 보여주었다. 이 경우도 유리창의 파열은 되지않는 것으로 나타나, 아트룸공간으로의 연기나 열기의 방출은 없는 것으로 나타났다.

② 스프링클러가 정상 작동을 하지 않는 경우

5층 사무실에서 화재가 발생하였으나, 스프링클러가 작동하지않는 경우 화재 크기(Fire Size)는 4.96MW, 상부층의 온도는 1101.2°C(1374.3K)으로 각각 데이터의 최대치가 나타났으며, 창문은 300초에 파열하여 아트룸 내부로 연기를 이동시킨다. 이때에 연기의 질량은 15 kg/s이며 연기의 부피는 28.74m³/s로 나타났다. 그러나 아트룸 공간의 연기의 평균 온도가 40.8°C(313.9K)이므로 이에 의한 피해는 없으며, 이때 방출되는 연기를 배연하기 위해서는 약 3회의 환기가 필요하다는 계산이 나왔다.

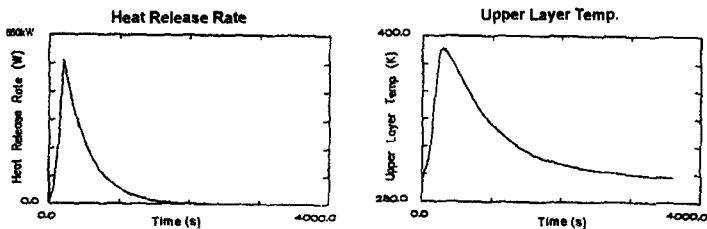


그림 3. 스프링클러가 작동된 5층화재의 그래프

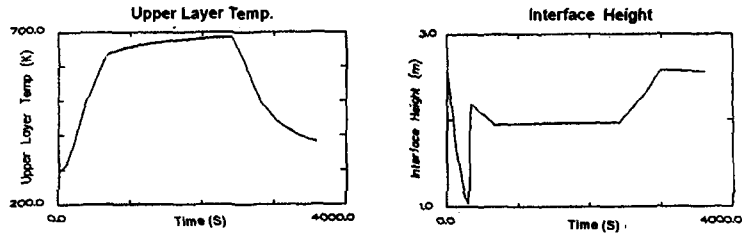


그림 4. 창문의 파괴되는 5층화재의 그래프

6. 결 론

본 논문에서는 우리나라 실정에 맞는 방화관련 규정과 아트룸과 같은 대공간에 대한 특별규정이 조속히 마련 되기를 바라며, 다음과 같은 제안을 하고자 한다.

아트룸과 사무실간에는 아트룸의 규모가 크고 상부가 외부와 개방되고 충분한 연기와 열기의 조정이 가정된다면, 창문을 사이에 두고 창문에 살수를 할수 있는 설비를 한 경우 방화구획에 준한 인정을 해주어야 할 것이다. 아트룸이 일정 규모이상이고 충분한 연기와 열의 제어가 가능한 것이 국제적으로 공인된 시뮬레이션을 통해 인정받은 경우에는 아트룸과 주변 사무실간의 완전개방도 검토되어야 할 것이다. 국내법에는 아트룸내에서의 자동소화설비규정에 의해 높이 20m 이상의 경우에는 스프링클러헤드 설치가 면제되고 있으나 폭이 좁은 경우는 고압의 측벽형스프링클러헤드의 설치에 의해 바닥의 화재를 진압하고, 이동식 자동소화설비나 방수총 소화설비등에 의한 자동소화설비를 갖추어 야간에 아트룸의 화재(방화포함)에 대비하여야 할 것이다. 본 논문은 앞으로 이 분야에 대한 많은 연구와 검증이 이루어져 선진국수준의 개방된 아트룸의 설계가 허용되기를 바란다.

참고 문헌

1. John H. Klote, "Method of Predicting Smoke Movement in Atria with Application to Smoke Movement", NIST, 1994.
2. G.O.Hansell and H.P.Morgan, "Design approaches for Smoke control in Atrium Buildings", BRE Report, 1994.
4. V.Powell-Smith and M.J. billing, "The Building Regulations", Black well Science Ltd, 1995.
5. R.W.Portier, R.D.Peacock, "FASTLite:Engineering Tools for Estimating Fire Growth and Smoke Transport", NIST, 1996.
6. A.A.Joshi, "User'Guide to BREAK1", NIST, 1991.